

**Université D'Alger**

4/75

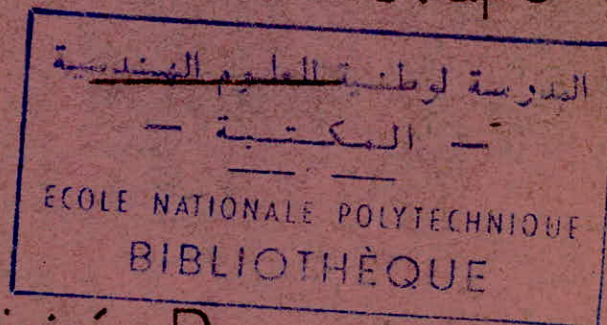
**Ecole Nationale Polytechnique**

**Departement D'Hydraulique** 95x

**Projet De Fin D'Etudes**

**Contribution A L'étude Des  
Paramètres D'irrigation  
En Laboratoire**

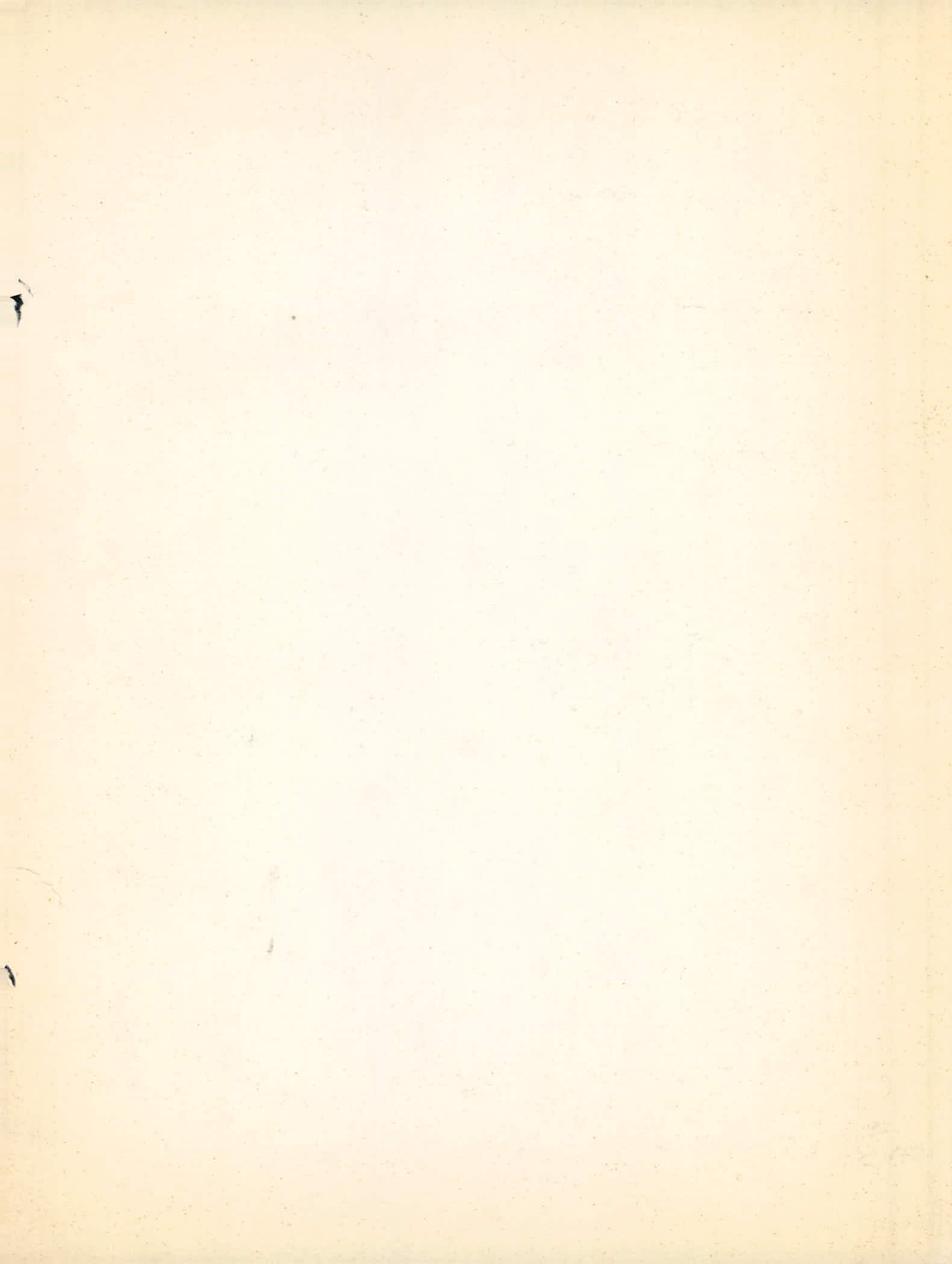
Etude d'un Pluvio-évaporomètre



Proposé et Dirigé Par :  
**Géza De Lapray Dr. Ing.**

Etudié et Réalisé Par :  
**Boudebous Saâdoun**

Promotion 1975



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PARAMETRES D'IRRIGATION  
EN LABORATOIRE

"PLUVIO-EVAPOROMETRE"



Proposé et dirigé par:

M. Géza DE LAPRAY Dr. Ingénieur.

Etudié et réalisé par:

M. BOUDEBOUS Saâdoun

PROMOTION 1975

## R E M E R C I E M E N T S

Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à Monsieur Géza DE LAPRAY, pour les conseils qu'il a bien voulu me donner , ainsi que pour les encouragements qu'il m'a constamment prodigués.

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à Mrs. EMERY et ARSENIÉV , ainsi qu'à tous les professeurs qui ont contribué à ma formation.

A M E S P A R E N T S

A M E S A M I S

## SOMMAIRE

INTRODUCTION  
BUT DU PROJET

### Premiere partie

Chap. I Notion d'évaporation

- I) Généralités
- II) Définition
- III) Facteurs de l'évaporation

Chap. II Notion d'évapo-transpiration

- I) Généralités
- II) Définition
- III) Facteurs de l'évapo-transpiration
- IV) Calcul de l'évapo-transpiration

### Seconde partie

Chap. III Etude de l'évaporation d'un plan d'eau  
libre en laboratoire

- I) Conception de l'appareil
- II) Inconvénient d'emploi d'autres appareils
- III) Phénomène d'oscillations
- IV) Mesures et résultats

Chap. IV Etude de l'évapo-transpiration

CONCLUSION

## INTRODUCTION

Le premier problème qui se pose aux ingénieurs responsables des périmètres à irriguer est l'étude d'une relation entre l'eau, le sol et la plante.

On conçoit que l'étude entre le sol, l'eau et même l'atmosphère a une extrême importance du point de vue agronomique. Cette étude est d'un intérêt capital lorsqu'il s'agit de comprendre le rôle de la terre comme réservoir d'alimentation en eau des plantes et de déterminer les conditions les meilleurs pour apporter, par l'irrigation, l'eau qui lui est nécessaire.

La technique de cette opération repose essentiellement sur la connaissance de la constitution des sols et leurs propriétés physiques, notamment la porosité, le pouvoir de rétention des terres pour l'eau et la perméabilité. On peut englober ces différents facteurs et les facteurs qui leur sont liés sous le nom de paramètre d'irrigation parmi ces paramètres d'irrigation l'évapo-transpiration joue un rôle prépondérant car c'est un élément de base pour la détermination des besoins propres en eau des plantes cultivées.

C'est pourquoi une fois ces besoins en eaux des plantes évalués avec le plus de précision possible on peut se consacrer à l'élaboration du projet du périmètre à irriguer, c'est à dire la détermination. :

- de la dose d'arrosage
- la durée et fréquence des arrosages
- le module.
- du mode d'irrigation
- enfin le calcul du réseau.

BUT DU PROJET

Le travail de these qui me fut confié a deux buts essentiels:

-Le premier étant de rechercher un lien permettant de rattacher l'évaporation d'un plan d'eau libre à l'évapo-transpiration.

-Le second étant la détermination au sein même des périmètres à irriguer ~~et~~ des bilans, aussi exactes que possible, des quantités d'eau consommées par évapo-transpiration et d'établir des règles relatives aux doses et aux dates des irrigations.

Aussi avons-nous été amenés à concevoir un appareil capable d'effectuer la mesure de l'évaporation et de l'évapo-transpiration c'est :

"LE PLUVIO-EVAPOMETRE"<sup>PO</sup>

Pourquoi "pluvio" car il nous permettra aussi la mesure des précipitations de faibles durées et de faibles intensités.



PREMIERE PARTIE

CHAPITRE I.

Les phénomènes d'évaporation interviennent dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations atteignent le sol.

L'évaporation se fait tout d'abord à partir de l'eau de pluie, la neige elle-même, alimente l'évaporation pendant le temps, souvent très long, où elle demeure sur le sol, l'eau s'évapore aussi des surfaces d'eau stagnantes ou courantes de toutes dimensions: flaques, étangs, lacs, ruisseaux, rivières et fleuves.

Enfin l'eau qui imprègne les couches superficielles (humidité du sol) soit qu'elle provienne des pluies infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité de la nappe phréatique constitue directement ou par l'intermédiaire de la couverture végétale un aliment important pour l'évaporation.

II) Définition:

on désigne par évaporation les phénomènes ci-dessus qui transforment l'eau en vapeur par un processus spécifiquement physique.

De grandes quantités d'eau sont évaporées par le processus de la transpiration des plantes qui, par leurs racines, vont puiser dans la profondeur du sol nécessaire à leur développement et à leur vie; cette évaporation "biologique" est appelée "transpiration".

III) Facteurs fondamentaux:

Les facteurs qui conditionnent les taux d'évaporation peuvent être groupés en deux catégories bien distinctes suivant qu'ils sont propres à l'atmosphère ambiante ou à la surface évaporante elle-même.

1) Les paramètres caractérisants l'état de l'atmosphère au voisinage de la surface évaporante et son apti-

-tude à provoquer l'évaporation; ces paramètres régissent le pouvoir évaporant de l'atmosphère (évapo-transpiration potentielle)

2) Les paramètres caractérisants la nature et l'état de la surface évaporante (surface d'eau libre, neige, glace, sol nu, végétation) ainsi que son aptitude à alimenter l'évaporation et à répondre plus ou moins rapidement aux variations du pouvoir évaporant de l'atmosphère.

Les diverses surfaces évaporantes sont influencées de façon quelque peu différente par les variations du pouvoir évaporant de l'atmosphère; ce dernier peut cependant être considéré, en première approximation, comme un facteur commun à tous les phénomènes d'évaporation quel que soit la nature de la surface évaporante.

CHAPITRE II.

B. NOTION D'ÉVAPO-TRANSPIRATION

I) Generalités :

Les recherches modernes sur les besoins en eau des plantes cultivées ne sont plus menées dans le seul but d'obtenir des données précises pour chaque plante sous chaque climat.

Les chercheurs s'orientent vers l'établissement de formules de bases logiques et universelles permettant de calculer rationnellement les besoins

Ces méthodes ont fait, ces dernières années, de grands progrès par l'action conjuguée de climatologues, d'hydrologues, de physiciens, d'agronomes et d'hydrauliciens.

L'idée générale est de ne plus continuer à étudier séparément d'une part l'évaporation des sols (problème de physiciens) et d'autre part la consommation des plantes elle-même (problème d'agronome) mais de s'orienter vers l'étude du phénomène global. dit de "l'évapo-transpiration" sans rechercher ce qui est attribué à l'un ou l'autre des deux phénomènes c'est à dire en fait de la façon dont il se pose en pratique pour l'irrigation.

II) Definition:

On désignera donc par "évapo-transpiration" la somme des volumes d'eau:

- utilisés par les plantes (eau de constitution, eau de végétation)
- évaporés par la surface du sol.

En pratique on évalue l'évapo-transpiration en hauteur d'eau.

Mais la notion d'évapo-transpiration est elle même assez mal définie car les quantités d'eau évaporées et transpirées dépendent dans une certaine mesure des taux d'humidité préexistants dans le sol.

Assi ,pour définir un critère plus précis on introduit "l'évapo-transpiration potentielle (E.T.P) qui correspond à la double hypothèse du maintien du taux d'humidité du sol à une valeur très voisine de sa capacité de rétention et d'un développement végétatif optimum.

En réalité, dès que le sol sera un peu desséché, il ne se produira plus qu'une évapo-transpiration réduite.

### III) Facteurs de l'évapo-transpiration

L'évapo-transpiration est naturellement conditionnée par les phénomènes physiques (soleil, vent, etc...) et les phénomènes biologiques.

En effet, en premier lieu l'évapo-transpiration dépend des échanges d'énergie radiante (énergie solaire) et de la turbulence de l'atmosphère qui sont deux phénomènes liés directement aux conditions climatiques (température, humidité de l'air, vent, durée d'exposition au soleil).

En second lieu l'évapo-transpiration varie en fonction des conditions biologiques. Certains chercheurs ont mis en évidence des "périodes critiques" pendant lesquelles les plantes sont plus au repos relatif et sont très peu sensibles vis-à-vis de l'eau pendant les périodes intermédiaires l'eau est utile mais son importance n'est plus absolument fondamentale.

Si, l'évapo-transpiration journalière, pour une même culture sous un climat constant, varie selon le stade de développement de la plante, par contre il est fondamental de constater que les recherches les plus récentes ont montré que, sur une période relativement longue, un mois au moins, l'évapo-transpiration potentielle était constante, et ne dépendait pratiquement que des facteurs climatiques.

### IV) Calcul de l'évapo-transpiration

Cette constance de la valeur de l'évapo-transpiration potentielle démentée par un grand nombre d'expériences

systematiques, a incite les chercheurs à mettre au point des formules empiriques, mais suffisamment approchés et vérifiées, donnant l'évapo-transpiration (ETp) en fonction des facteurs plus ou moins nombreux et surtout des éléments prévisibles du climat.

Ces formules prennent en consideration des facteurs plus ou moins nombreux.

C'est d'abord BLANEY et CRIDDLE (1945-USA) qui, expérimentant en zone aride ou sub-aride, proposèrent, après différentes études poursuivies depuis 1931, une relation de la forme  $(ETp) = KF$  dans laquelle  $F$  était la "force évaporante" (fonction de la température et de la durée d'ensoleillement) et  $K$  un coefficient peu variable qui intègre tous les autres facteurs non analysés.

Egalement aux U.S.A. THORNTHWAITE mettait au point (1944-1948) une formule qui paraît valable à la fois dans les régions semi-arides et semi-pluvieuses. A la suite de nombreuses expériences en lysimètre il a établi que l'évapo-transpiration potentielle était donnée par la relation:

$$(ETp) = CT^a$$

Dans laquelle on pose:

(ETp): évapotranspiration potentielle pour un mois théorique de trente jours et une durée théorique d'éclairement de 12 heures sur 24

$T$ : température moyenne pour la période considérée

$C$  et  $a$ : coefficients fonctions de l'indice thermique annuel, mais constants sous un climat et un lieu donnés

Remarque:

l'expérience prouve que toutes les courbes (droites en coordonnées logarithmiques) représentatives de la relation

-on:  $(ETp) = CT^{\alpha}$  correspond à des lieux et des climats différents passent toutes par le point fixe de coordonnées

$(ETp) = 135 \text{ mm}, T = 26,5 \text{ degrés centigrades.}$

L'exploitation des formules de BLANEY-CRIDDLE et de THORNTHWAITE est rendue simple par l'emploi d'abaques et de tableaux.

En Angleterre PENMANN, qui a abordé le problème (1947) selon le principe de la conservation de l'énergie, propose la relation :

$$(ETp) = k(ETp)$$

L'indice "0" correspond à l'évaporation d'une surface d'eau libre et k est un coefficient de réduction (0,6 à 0,8) variant suivant le mois et la culture

$(ETp)_0$  est déterminée par la connaissance des facteurs suivants:

- la radiation globale.
- l'albédo de la surface
- l'insolation relative
- le gradient de la tension moyenne de la vapeur d'eau par rapport à la température moyenne de l'air.
- la vitesse du vent.

Cette formule est assez complexe, mais son application est facilitée par l'emploi de tableaux. Notons que l'étude de PENMANN souligne d'abord l'aspect déterminant de la radiation plus que la température de l'air qui n'en est qu'une conséquence; elle met ensuite en évidence l'influence de facteurs nouveaux secondaires d'ordre climatique (vent, tension de vapeur d'eau) et d'ordre biologique (couverture végétale).

En FRANCE TURC (1953) a proposé plus récemment la formule suivante:

$$(E.T.p) = \frac{P + a + V}{\sqrt{1 + \left( \frac{P+a}{l} + \frac{V}{2l} \right)^2}}$$

Dans laquelle on considère, pour chaque période de 10 jours:

- P: précipitations pour cette période
- a; hauteur d'eau susceptible d'être évaporée par le sol nu pendant la décade, en plus des précipitations (1mm < a < 10mm)
- V: facteur végétation (égal à 0 dans le cas d'un sol nu)
- l: évaporation maximale pendant la décade correspondant à un approvisionnement en eau suffisant.

V et l sont eux-mêmes donnés par des formules complètes. Mais sous la dernière forme qui lui a été donnée (1960), la relation de TURC se simplifie en:

$$(ETp) = 0,40(Ig + 50) \frac{T}{T + 15}$$

Dans laquelle:

- (ETp): est l'évapotranspiration potentielle en mm/mois
- Ig: la radiation globale du mois considéré en petites calories par cm<sup>2</sup> et par jour sur une surface horizontale (soit mesurée directement, soit calculée)
- T: la température moyenne mensuelle en degrés centigrades (pour tout mois où T est inférieure ou égale à 0; (ETp) est prise égale à 0)

Le calcul se faisant mois par mois, il y a lieu de tenir compte de la durée variable des mois: si ceux de 30 et de 31 jours peuvent ne pas être différenciés, il importe par contre, pour le mois de février, de remplacer le coefficient 0,40 par 0,37.

Si l'on considère les périodes décennales ; remplacer le coefficient 0,40 par 0,13.

Si la température T se trouve facilement dans les publications météorologiques par contre  $I_g$  nécessite dans la plus part des cas un calcul préalable .

$I_g$  est , en effet , donnée par la relation:

$$I_g = I_{g_A} \left( 0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

Avec:

-  $I_{g_A}$ : la radiation maximale donnée par les tables de ANGOT avec une transparence de l'atmosphère égale à 1.

-  $\frac{h}{H}$ : insolation relative, en heures.

(H; durée mensuelle du jour, h: durée de l'insolation effective du mois)

A noter que pour les régions tropicales GLOVER et MAJ CULLOR, au Kenya, proposèrent la formule suivante:

$$I_g = I_{g_A} \left( 0,29 \cos \lambda + 0,52 \frac{h}{H} \right)$$

Etant la latitude du lieu:

$I_{g_A}$  et H ne dépendent que de la latitude et sont données par des tables.

La validité de la formule de TURC, établie à la suite de nombreuses expériences sur case lysimétriques à Versailles et d'analyses de bilans hydrologiques de multiples bassins dans le monde entier, n'est pas contestable. Elle est de plus en plus utilisée en irrigation alors qu'au début elle paraissait destinée surtout à l'estimation de bilans hydrologiques .

Notons qu'elle a été établie pour une humidité relative pour le mois considéré supérieure à 50% ( $hr \gg 50\%$ ), ce qui est le cas général en France .

lorsque  $hr$  n'atteint pas 50% , la valeur trouvée pour l'ETp doit être multipliée par le facteur correctif suivant:



$$(1 + \frac{50-hr}{70})$$

Critique des formules précédentes :

Il faut remarquer qu'elles donnent surtout la valeur de l'évapo-transpiration potentielle alors qu'en réalité, le sol étant plus ou moins desséché, il ne se produit qu'une évapo-transpiration réduite.

C'est la formule de TURC qui tient le plus largement compte de ce fait, tandis que PENMANN et THORNTON ont bien précisé que leurs formules ne donnaient que l'évapo-transpiration potentielle.

SECONDE PARTIE

CHAPITRE III

ETUDE DE L'EVAPORATION D'UN PLAN

D'EAU LIBRE EN LABORATOIRE

I) Conception de l'appareil

I°) Principe et description: Pour contrôler l'évaporation d'un plan d'eau libre et effectuer la mesure de la quantité d'eau évaporée pendant une certaine durée de temps on peut procéder de différentes façons. La méthode classique se réduit à une simple mesure limnimétrique de l'abaissement du niveau d'eau, soit au moyen d'une échelle, soit au moyen de n'importe quel limnimètre ou limnigraphe.

La méthode qui va être exposée est très simple et a pour but d'éviter l'emploi de ces délicats appareils de limnimétrie et d'obtenir aisément une importante précision. Le principe de l'appareil de mesure, conçu dans ce but, consiste à rétablir par intermittence le plan d'eau du bassin d'évaporation à un niveau constant en assurant un afflux ou un reflux d'eau équivalent à la quantité d'eau évaporée ou à la quantité d'eau tombée par précipitation. C'est ce complément d'eau ou ce supplément, quand il s'agit de précipitations, ~~d'eau~~ ajouté ou retranché pour rétablir le plan d'eau du bassin d'évaporation à un niveau préalablement déterminé que nous nous proposons à mesurer par simple abaissement ou par une élévation du niveau d'eau dans deux réservoirs, constitués par deux cylindres verticaux à section horizontale calibrés et munis d'échelles.

L'un des réservoirs alimente le bassin d'évaporation; l'autre est alimenté par le dit bassin d'évaporation quand se produit une précipitation.

L'appareil conçu sur les bases exposées ci-dessus comprend les éléments suivants: Fig I et II

# PLUVIO-EVAPOROMETRE

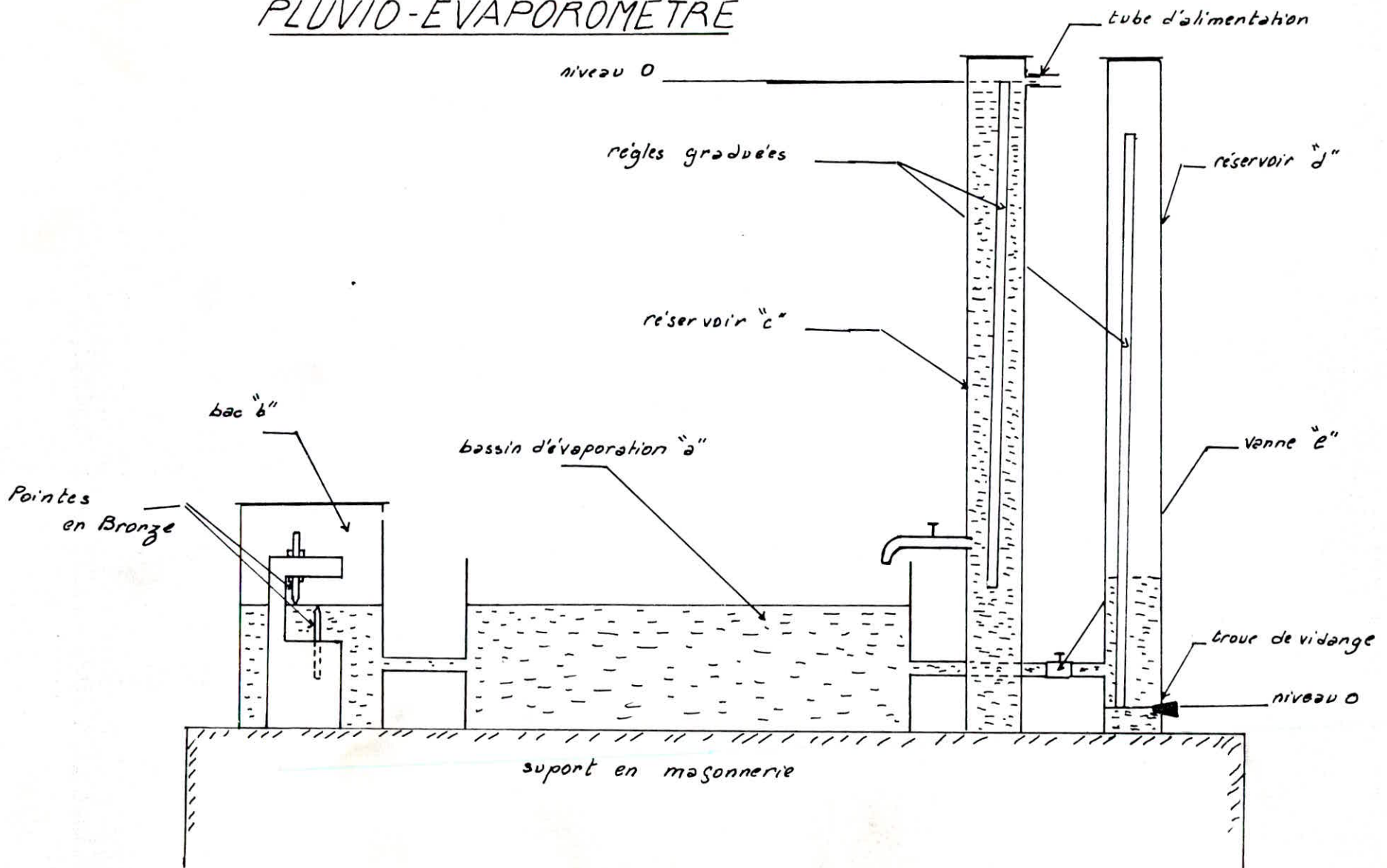


Fig I

Pluio-évaporomètre

vue de dessus

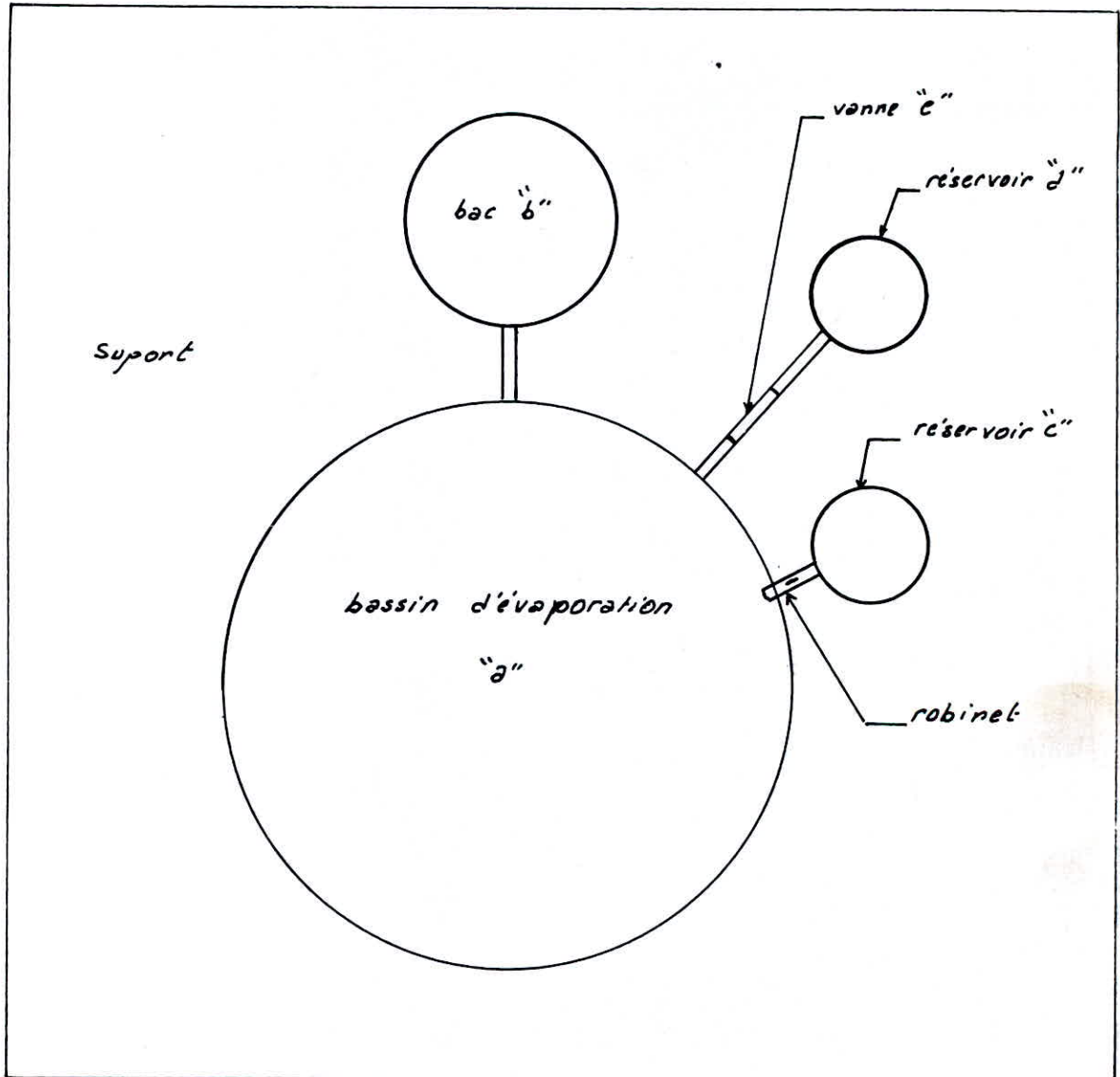


Fig II

- a: un bassin d'évaporation circulaire ayant un diamètre de 63,9 cm et une hauteur de 17,2 cm
- b: un bac circulaire ayant un diamètre de 192 et une hauteur de 26,8 cm, formant, vase communiquant avec le bassin d'évaporation. Son rôle est de maintenir un niveau constant dans le bassin d'évaporation à l'aide d'un élément à deux pointes.
- c: un réservoir de compensation formé d'un cylindre verticale d'un diamètre de 8,4 cm et d'une hauteur de 94,7 cm, muni d'un robinet.
- d: un réservoir de même forme et de même dimensions que le précédent utilisé pour les précipitations.
- e: une vanne reliant le bassin d'évaporation et le réservoir conçu pour les précipitations.

-2°) Fonctionnement de l'appareil en évaporation:

L'appareil réalisé fonctionne ainsi:

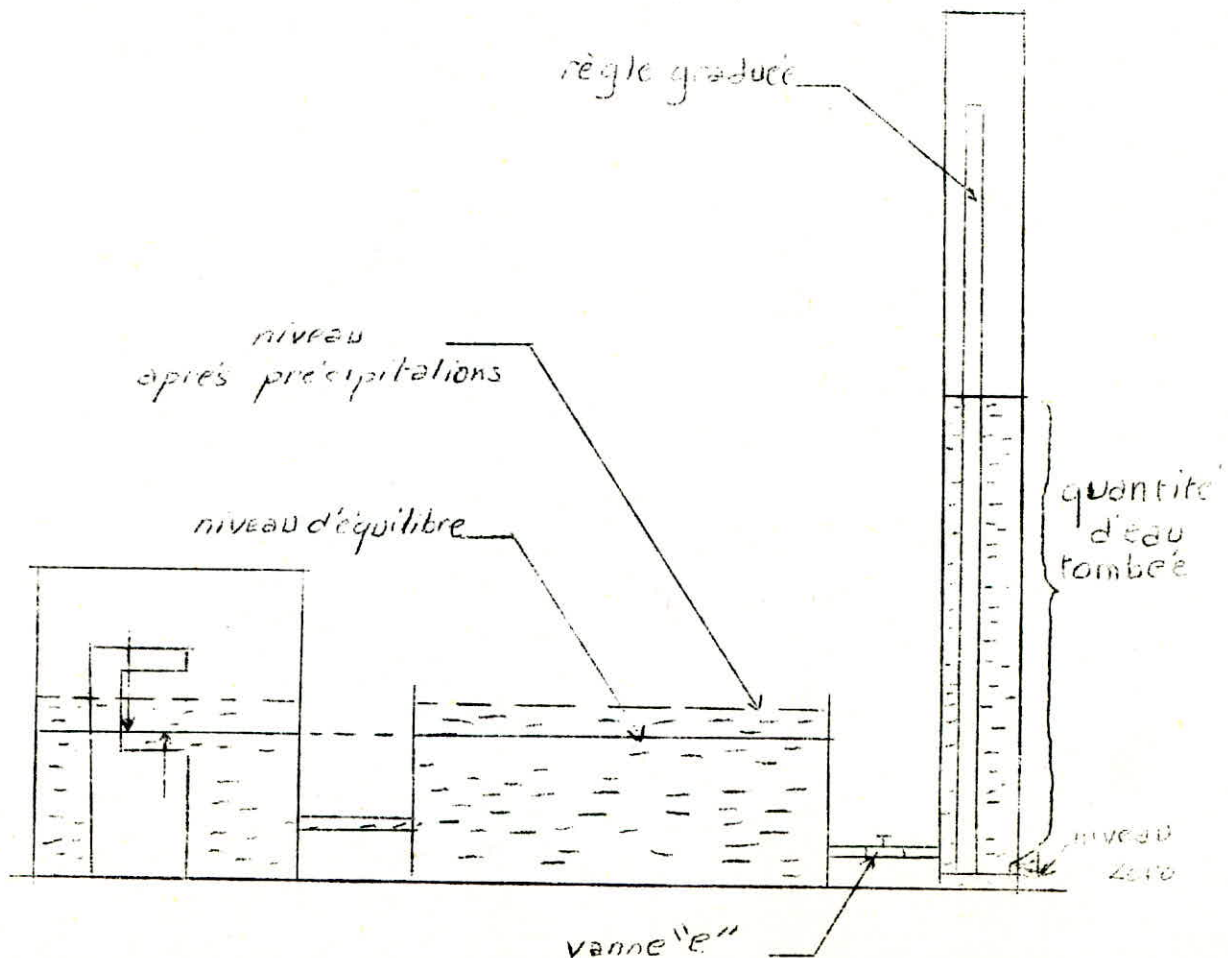
-Le bac circulaire "b" formant <sup>vase</sup> √ communiquant avec le bassin d'évaporation "a". Le plan d'eau dans ces deux récipients tend à se stabiliser à un niveau identique, constant déterminé par la position des deux pointes en bronze.

Tant que le niveau d'eau dans les deux réservoirs "a" et "b" reste stable, le robinet du réservoir "c" sera fermé; mais cet état d'équilibre ne pouvait se maintenir pendant l'évaporation car le plan d'eau du bassin d'évaporation "a" et par conséquent celui du bassin "b" descendait. Au bout d'une certaine durée de temps le niveau d'eau contrôlé par les deux pointes descend et il faut rétablir l'équilibre rompu par l'évaporation en agissant sur le robinet du réservoir "c" donc en déclenchant un afflux d'eau; le niveau d'eau dans le réservoir "c"

descend et à l'aide d'une échelle gravée sur le réservoir "c" on peut alors mesurer la quantité d'eau évaporée pendant la durée de temps considérée.

3°) fonctionnement de l'appareil en précipitation:

lors des précipitations le niveau d'eau dans le bassin d'évaporation "a" donc dans le bac "b" s'élève. Pour rétablir l'équilibre rompu par la tombée de la pluie on agit sur la vanne "e"; ensuite on prélève l'eau excédente à l'aide d'un récipient quelconque et on la transfuse dans le réservoir "d" et ceci jusqu'à ce que qu'on atteigne le niveau constant réglé par les deux pointes. Au moyen d'une échelle collée sur le réservoir "d" on peut alors mesurer la quantité d'eau tombée.



4°) Etablissement des échelles:

Pour mesurer la quantité d'eau évaporée ou tombée on a conçu des échelles qui dépendent des dimensions du bassin d'évaporation "a" et des réservoirs "c" et "d". En effet (voir Fig ci-dessous)

Nous avons:

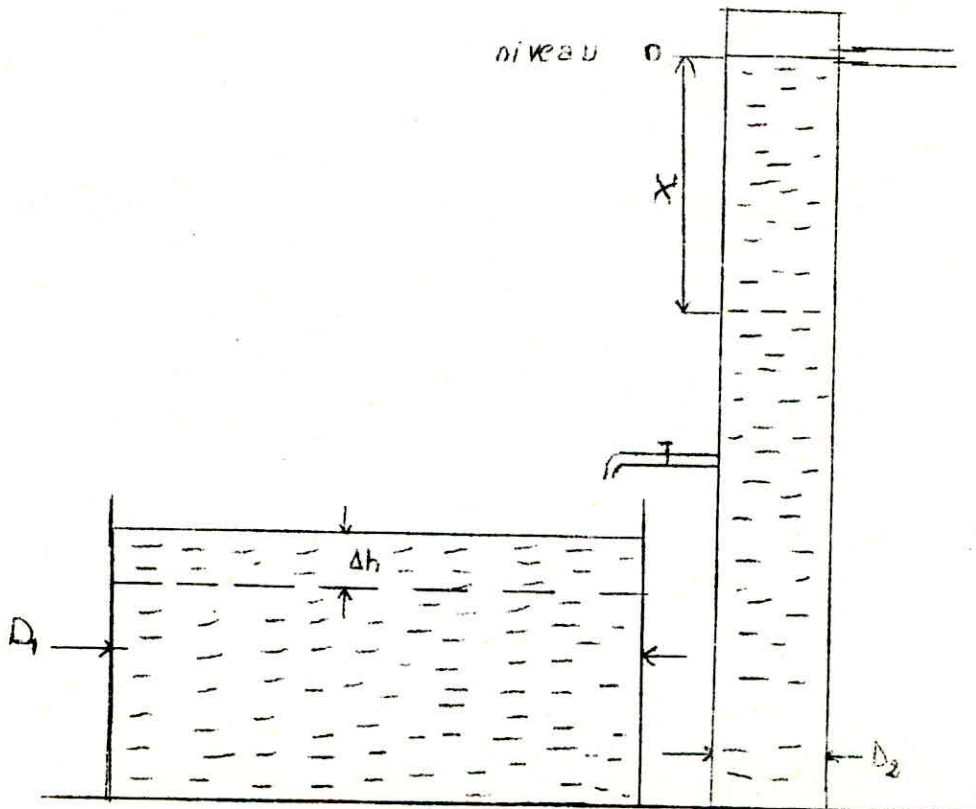
$$V_e = x \times \pi \frac{D_2^2}{4} = \Delta h \times \pi \frac{D_1^2}{4}$$

avec :

$V_e$ : volume d'eau, évaporée ou tombée quand il s'agit de précipitations

$\Delta h$ : hauteur d'eau correspondante au volume  $V_e$  dans le bassin d'évaporation "a"

$x$ : hauteur d'eau correspondante au volume  $V_e$  dans le réservoir "c" ou "d".



SI on prend  $\Delta h = 1$  cm  $D_1 = 63,9$  cm  $D_2 = 8,4$  cm on a alors :

$$x = \frac{D_1^2}{D_2^2} \frac{(63,9)^2}{(8,4)^2} = 57,868 \text{ cm}$$

$$\underline{X = 57,868 \text{ cm}}$$

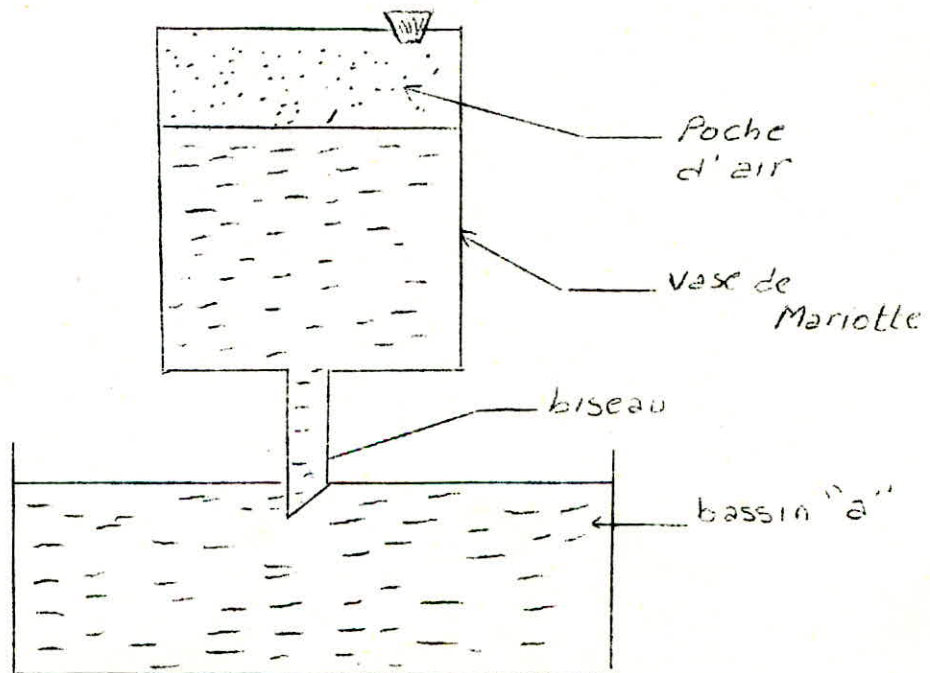
Donc pour une différence de niveau d'eau de 1 cm dans le bassin d'évaporation "a" il y correspond une différence de 57,868 cm dans le réservoir "c" ou "d". C'est ce nombre qu'on appellera la constante de l'appareil.

## II) Inconvénient d'emploi d'autres appareils:

### 1°) Inconvénient de l'emploi du vase de Mariotte

le maintien du niveau d'eau, dans le bac "b", toujours dans une position constante peut se faire à l'aide d'un vase de Mariotte. Mais cette solution présente deux inconvénients majeurs:

-a) considérons un récipient "a" de forme quelconque dans lequel on veut maintenir un niveau rigoureusement constant à l'aide d'un vase de Mariotte.





Quand le niveau d'eau dans le bac "a" descend , alors il y a admission de bulles d'air dans le vase de Mariotte "b" en même temps l'eau contenue dans le vase de Mariotte descend dans le bassin "a" pour maintenir le plan d'eau au niveau considéré .Les particules d'eau qui se meuvent avec une certaine vitesse vont créés des perturbations dont l'amplitude varie entre -6 et +6mm.Ces perturbations sont dues au "phenomène d'oscillations d'un liquide"dont nous exposerons la théorie plus loin .

On peut améliorer cet état gênant en confect-  
-tionnant un tube amortisseur tout au tour du biseau de  
manière à ce que l'amplitude des perturbations précédentes  
va se réduire ,dans le rapport des diamètres du biseau et  
du bac "a"

Cette amélioration a été faite par M.GEZA DE  
LAPRAY.voir Fig III

Malgré cette amélioration les perturbations  
persistent et l'emploi de cet appareil n'est pas commode.

-b) la poche d'air se trouvant dans le bassin  
"b" est soumise à une dilatation quand la température  
ambiante augmente .L'air se détend et va chasser l'eau  
qui se trouve en son contact.Ceci pour conséquence la  
descente du niveau d'eau dans le bac "b" et l'élévation  
de celui du récipient "a" .Ainsi l'équilibre est rompu.

C'est pour ces deux raisons que l'on a délaissé  
cette solution au profit de la méthode du maintien du  
niveau d'eau rigoureusement constant , à l'aide des deux  
pointes.

Vase de Mariotte amélioré  
par  
M. Géza DE LAPRAY

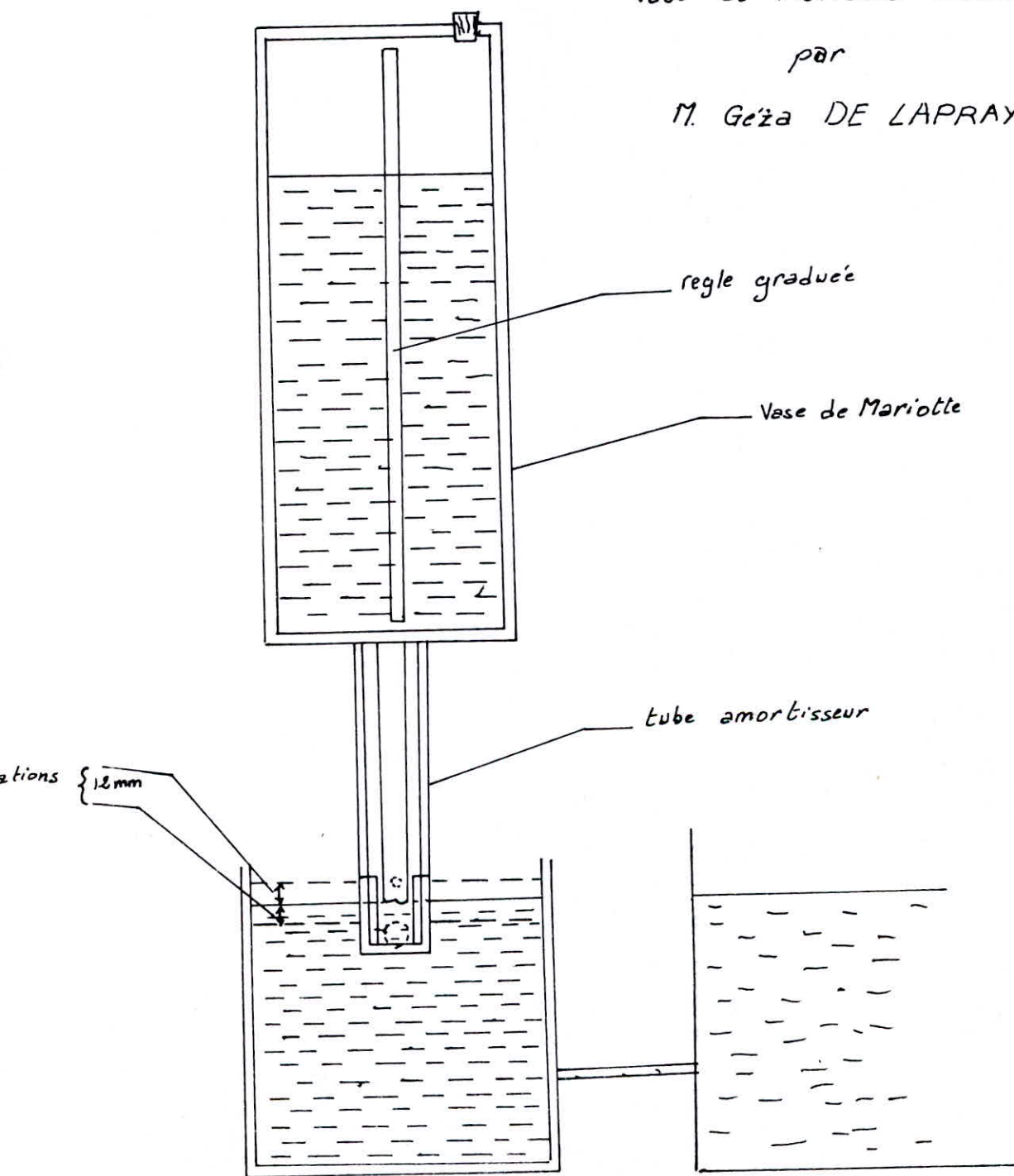
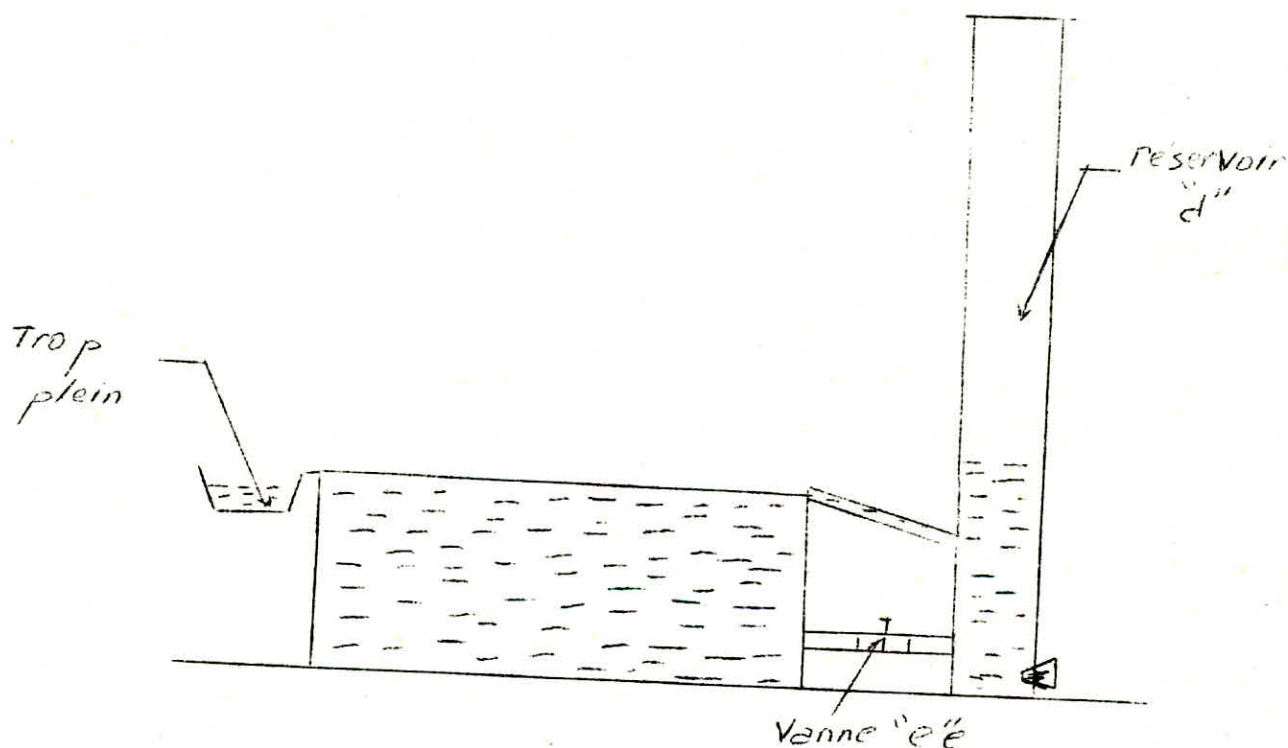


Fig. III

-2°) Inconvénient de l'emploi du trop plein:

Pour éviter le débordement du bassin d'évaporation "a" lors des précipitations assez fortes on pouvait confectionner un trop plein autour du bassin d'évaporation ou relier ce bassin directement avec la collonne destinée à la mesure de la pluviosité à l'aide d'un tube comme le montre la figure ci-dessous:



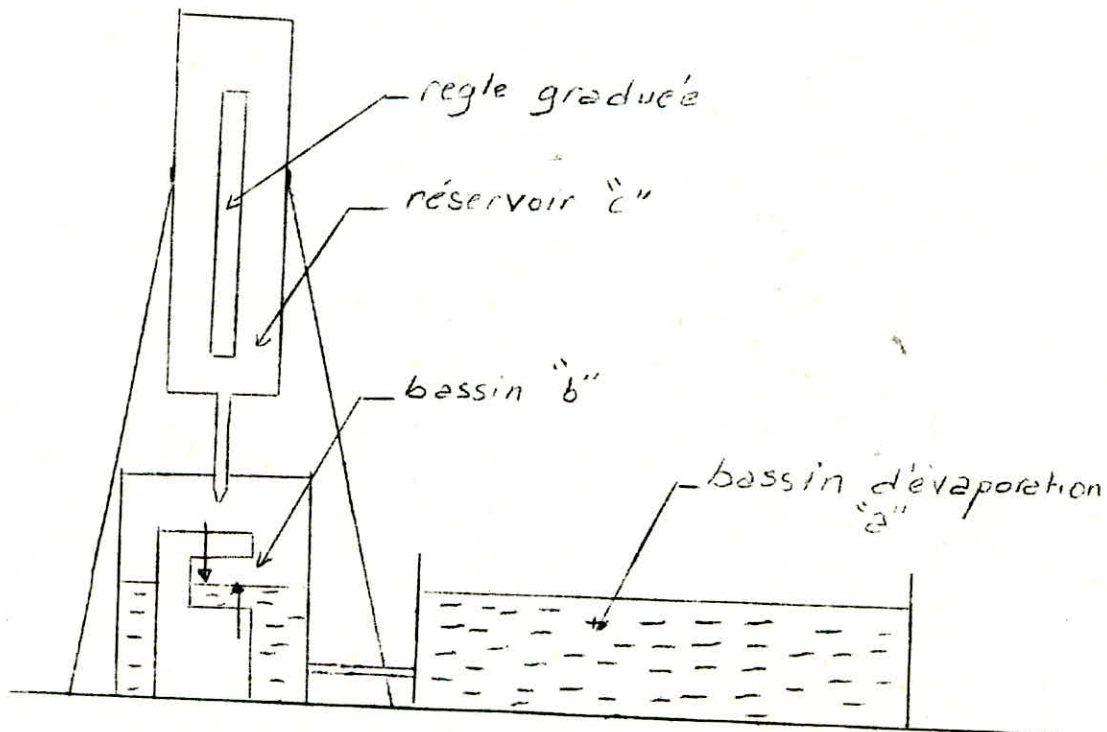
Mais la sensibilité du dispositif sera défavorablement influencée par la tension superficielle de l'eau liquide mouillant qui adhère à toute surface solide contactée .C'est pourquoi le plan d'eau dans le bassin d'évaporation "a" devrait monter à 1,5mm environ au dessus du bord de la paroi du bassin "a" avant que le ménisque ne se détache et que le déversement de l'eau dans le trop plein ou dans le tube "d" soit amorcé. Ce déversement de l'eau dans le trop plein ou dans le tube "d" ,étant retardé et que par ailleurs le niveau qui

devrait être rigoureusement constant était soumis à des variations périodiques d'une amplitude d'environ 1,5mm font que la solution proposée a été abandonnée au profit de l'emploi de la vanne "e".

-3°) choix entre l'alimentation du bassin d'évaporation "a" et le bac "b":

Deux solutions nous sont offertes pour régler du plan d'eau du bassin "a" lors de l'évaporation ou des précipitations :

- soit alimenter le bassin "b" en mantant un réservoir sur trépied voir fig. ci-dessous
- soit alimenter le bassin d'évaporation "a" au moyen d'un tube muni d'un robinet



Nous avons préféré cette dernière solution pour le fait suivant:

Quand on alimente le bassin "b" comme le montre la figure précédente il y a des perturbations dues à la chute des gouttes d'eau et le niveau qu'on veut rigoureusement constant est soumis à des variations plus ou moins importantes. Par contre en alimentant le bassin d'évaporation "a" ; solution adoptée voir figure I, ces dernières perturbations se réduisent rapidement, vu la surface du bassin, et n'ont aucune influence sur le niveau d'eau qui est réglé par les deux pointes se trouvant dans le bassin "b".

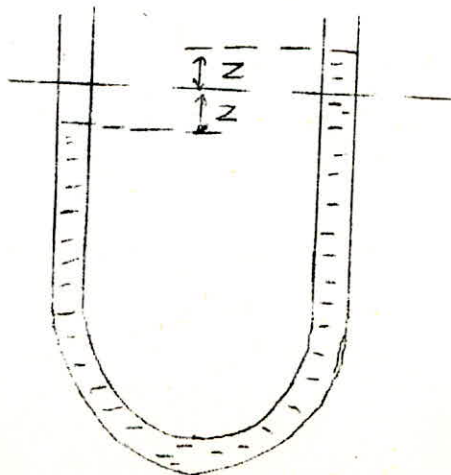
III) Phénomène des oscillations:

Ce phénomène entre en jeu lors de l'alimentation du bassin d'évaporation "a" pour rétablir le plan d'eau au niveau constant considéré. En effet on constate des oscillations dont l'amplitude varie de quelques mm dans les bassins "a" "b". Le niveau ne devient rigoureusement constant qu'après une certaine durée de temps pendant laquelle les perturbations, dues aux oscillations déjà signalées, se réduisent progressivement.

L'eau, liquide réel, se trouvant en mouvement entre les deux recipients "a" et "b" va rencontrer une "résistance laminaire".

Théorie du phénomène:

Considérons la figure suivante:



Dans le cas où le mouvement est freiné par une résistance laminaire on suppose que celle-ci est exactement égale à celle qui occasionnée par un mouvement permanent ayant la même vitesse. On obtient ainsi l'équation différentielle du mouvement. L'équation suivante exprime la perte de charge se produisant le long d'une conduite de largeur L en régime laminaire à la vitesse V:

$$h = \frac{32\mu LV}{gQD^2}$$

D désignant le diamètre du tube et  $\mu$  la viscosité dynamique. En nous référant à la figure précédente nous constatons que la force occasionnant l'accélération de la colonne, est, comme dans le cas d'un liquide idéal:

$$F = 2zAgQ$$

La masse subissant l'action de cette force:

$$m = \rho AL$$

Et l'accélération:

$$a = \frac{d^2 z}{dt^2}$$

Si z va en croissant, on a:

$$-2zAgQ - \frac{32\mu LAQg}{\rho g D^2} \frac{dz}{dt} = \rho AL \frac{d^2 z}{dt^2}$$

D'où en divisant par  $\rho AL$  on tire:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{32\mu}{D^2} \frac{dz}{dt} + \frac{2g}{L} z = 0 \quad (1)$$

On peut

ON peut démontrer que la solution générale de l'équation(1) est donnée par l'équation suivante:

$$z = C_1 e^{at} + C_2 e^{bt} \quad (2)$$

Avec

$$a^2 + \frac{32\mu}{D^2} a + \frac{2g}{L} = 0 \quad (3)$$

Et

$$b^2 + \frac{32\mu}{D^2} b + \frac{2g}{L} = 0 \quad (4)$$

$C_1$  et  $C_2$  étant des constantes qui peuvent être déterminées si l'on connaît les valeurs de z et de dz/dt dans un instant donné. Puisque les équations déterminant a et b sont identiques, elles sont données par les deux racines d'une même équation de 2° degré:

$$a = -\frac{16\rho}{D^2} + \sqrt{\left(\frac{16\rho}{D^2}\right)^2 - \frac{2g}{L}} \quad (5)$$

Et

$$b = -\frac{16\rho}{D^2} - \sqrt{\left(\frac{16\rho}{D^2}\right)^2 - \frac{2g}{L}} \quad (6)$$

En posons

$$m = \frac{16\rho}{D^2} \quad (7)$$

Et

$$n = \sqrt{\left(\frac{16\rho}{D^2}\right)^2 - \frac{2g}{L}} \quad (8)$$

L'équation (2) devient:

$$z = C_1 e^{-mt} e^{nt} + C_2 e^{-mt} e^{-nt} \quad (9)$$

En considérant que pour  $t=0$  on a  $z=0$  et  $dz/dt=V_0$ .

on tire:

$$C_1 = -C_2$$

Ainsi l'équation (9) devient:

$$z = C_1 e^{-mt} (e^{nt} - e^{-nt}) \quad (10)$$

Avec

$$\frac{e^{nt} - e^{-nt}}{2} \equiv \text{sh } nt$$

L'équation (10) devient:

$$z = 2C_1 e^{-mt} \text{sh } nt \quad (11)$$

EN dérivant suivant  $t$  on tire:

$$V = \frac{dz}{dt} = 2C_1 (-m e^{-mt} \text{sh } nt - n e^{-nt} \text{ch } nt) \quad (12)$$

En posant que pour  $t=0$   $V=V_0$  on tire:

$$V_0 = 2C_1 n \quad (13)$$

Puisque  $\text{sh}0=0$  et  $\text{ch}0=1$ . ainsi:

$$z = \frac{V_0}{n} e^{-mt} \text{sh } nt \quad (14)$$

Cette dernière équation définit le déplacement  $z$  de chacun des ménisques en fonction du temps si initialement pour  $t=0$  on a eu  $z=0$  et  $V=V_0$ .

Nous allons considérer les deux cas principaux:

- Dans le premier cas lorsque :

$$\frac{16D}{D^2} > \sqrt{\frac{2g}{L}} \quad (15)$$

n est un nombre réel et l'effet de la viscosité est si importante que le mouvement s'amortit en une fraction du cycle avant que z puisse se faire négatif.

La durée de temps nécessaire à ce que z atteigne sa valeur maxima se *détermine* en dérivant (14) suivant t:

$$\frac{dz}{dt} = 0 = \frac{V_0}{n} (-m e^{-mt} \text{sh } nt + n e^{-mt} \text{ch } nt)$$

D'où on tire :

$$\text{th } nt_0 = \frac{n}{m} \quad (16)$$

La substitution de cette valeur de t en (14) permet de déterminer la valeur Z du déplacement maximal:

$$Z = \frac{V_0}{\sqrt{m^2 - n^2}} \left( \frac{m - n}{m + n} \right)^{m/2n} = V_0 \sqrt{\frac{L}{2g}} \left( \frac{m - n}{m + n} \right)^{m/2n} \quad (17)$$

- Dans le second cas lorsque:

$$\frac{16D}{D^2} < \sqrt{\frac{2g}{L}} \quad (18)$$

Il y a un nombre négatif sous la racine déterminant la valeur de n :

$$n = \sqrt{-1 \left[ \frac{2g}{L} - \left( \frac{16D}{D^2} \right)^2 \right]} = i \sqrt{\frac{2g}{L} - \left( \frac{16D}{D^2} \right)^2} = in' \quad (19)$$

Notons que  $i = \sqrt{-1}$  et n' un nombre réel. En remplaçant n par in' en (14) on obtient une fonction ayant sa valeur réelle:

$$z = \frac{V_0}{in'} e^{-mt} \text{sh } in't \equiv \frac{V_0}{n'} e^{-mt} \sin n't \quad (20)$$

..../....



Puisque  $\sin n't = \frac{1}{i} \text{sh } in't$

Le mouvement est une oscillation autour de  $z = 0$  avec une amplitude décroissante.

La durée de temps correspondante au déplacement max des ménisques se calcule par (20) en faisant  $dz/dt=0$  ce qui donne:

$$\text{tg } n't_0 = \frac{n'}{m} \quad (21)$$

Il existe un nombre infini de valeurs de  $t_0$  satisfaisant cette dernière équation, chacune des dites valeurs correspond à une position extrême du ménisque. En substituant  $t_0$  en (17) on tire:

$$z = \frac{V_0}{\sqrt{n'^2 + m^2}} e^{-(m/n') \text{arc tg } (n'/m)}$$

Ou encore:

$$z = V_0 \sqrt{\frac{L}{2g}} e^{-(m/n') \text{arc tg } (n'/m)} \quad (22)$$

IV) Mesures et resultats:

Après la réalisation de l'appareil nous l'avons exposé à l'extérieur du laboratoire .Les essais auxquels nous avons procédé consistent à prélever l'évaporation journaliere.

Notons que ces mesures n'aurons leur vraie importance qu'une fois qu'elles seront confrontées à celles de l'évapotranspiration. Tout ceci afin de trouver comme nous l'avons déjà signalé dans le but de ce projet, un lien entre l'évaporation d'un plan d'eau libre et l'évapo-transpiration.

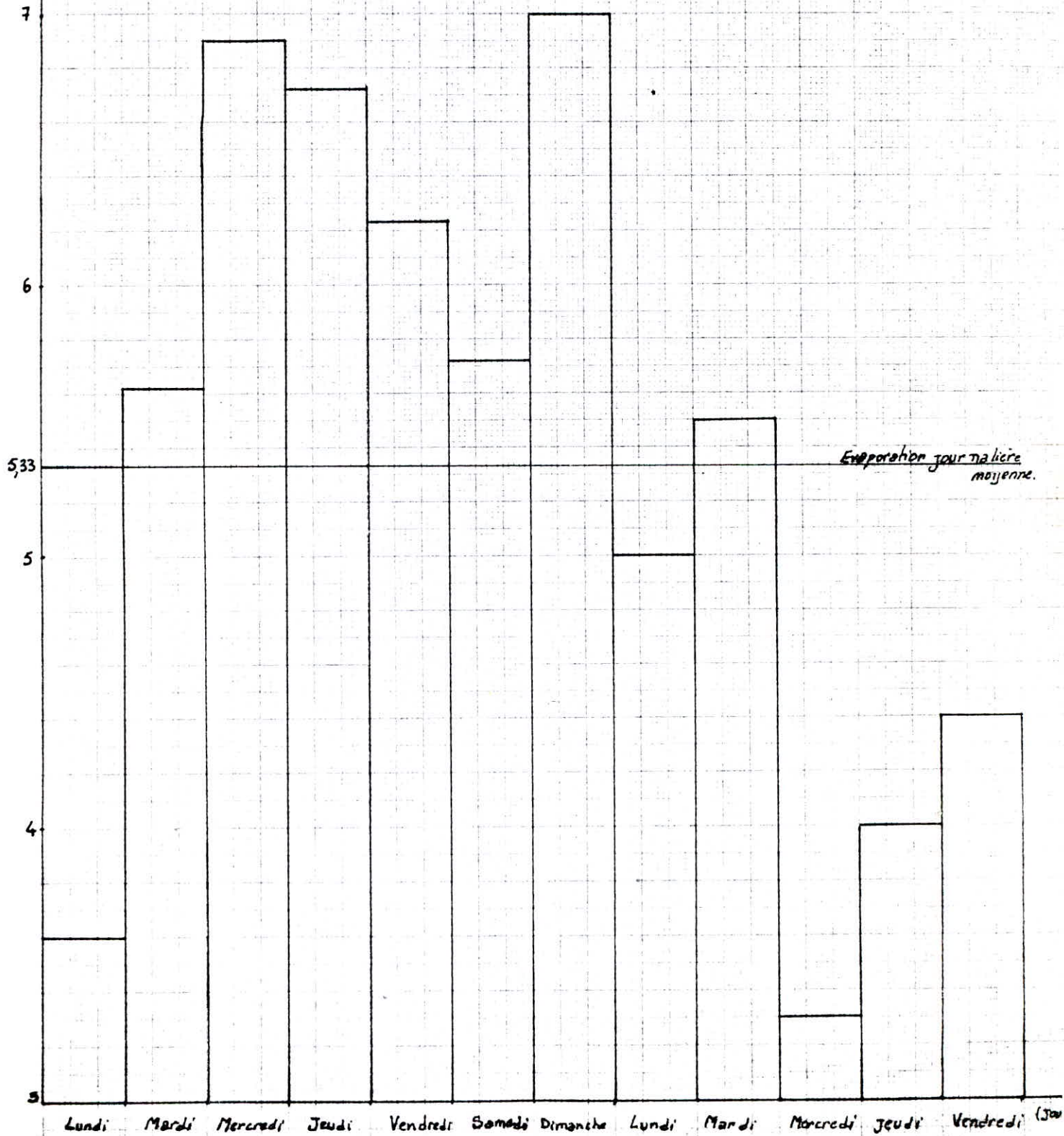
Résultats obtenus:

Journées	Evaporation
Lundi 12 Mai	3,60 mm
Mardi 13 "	5,62 ""
Mercredi 14 "	6,90""
Jeudi 15 "	6,72 ""
Vendredi 16 "	6,23 ""
Samedi 17 "	5,72 ""
Dimanche 18 "	7,00 ""
Lundi 19 "	5,00 ""
Mardi 20 "	5,50 ""
Mercredi 21 "	3,30 ""
Jeudi 22 "	4,00 ""
Vendredi 23 "	4,40 ""

Nous obtenons une évaporation moyenne journaliere de :

5,33 mm

↑ Evap. (mm)



Chapitre V

Etude de l'évapo-transpiration

Dans ce chapitre nous allons donner une description de l'appareil qui nous servira à étudier l'évapotranspiration potentielle de plusieurs sols contenant des plants.

Cet appareil fonctionne selon le même principe que le "pluvio-évaporomètre". C'est à dire, rétablir par intermittance le plan d'eau dans le bassin contenant le sol à un niveau constant ( ce niveau correspondra à la capacité de rétention du sol) en assurant un afflux d'eau équivalent à la quantité d'eau évapotranspirée.

Description de l'appareil:

Le dispositif est constitué par les éléments suivants: (voir fig IV)

-un bassin "a" : dont le fond est troué contenant un sol quelconque.

-un bac "b": maintenu par des articulations à un bac "d" et solidaire à un flotteur "c".

-un bassin "d": dans lequel sont plongés les éléments considérés précédemment.

-un flotteur "c"

-un réservoir "e": élément d'un pluvio-évaporomètre

Fonctionnement de l'appareil:

Cet appareil fonctionne ainsi:

On repère le niveau dans le bac "b" correspondant à la capacité de rétention du sol se trouvant dans le bassin "a". Le sol va se dessécher lors de l'évapotranspiration, donc le niveau dans le bac "b" descend, le flotteur monte, et l'équilibre est rompu. Il faut rétablir le plan d'eau au niveau considéré.

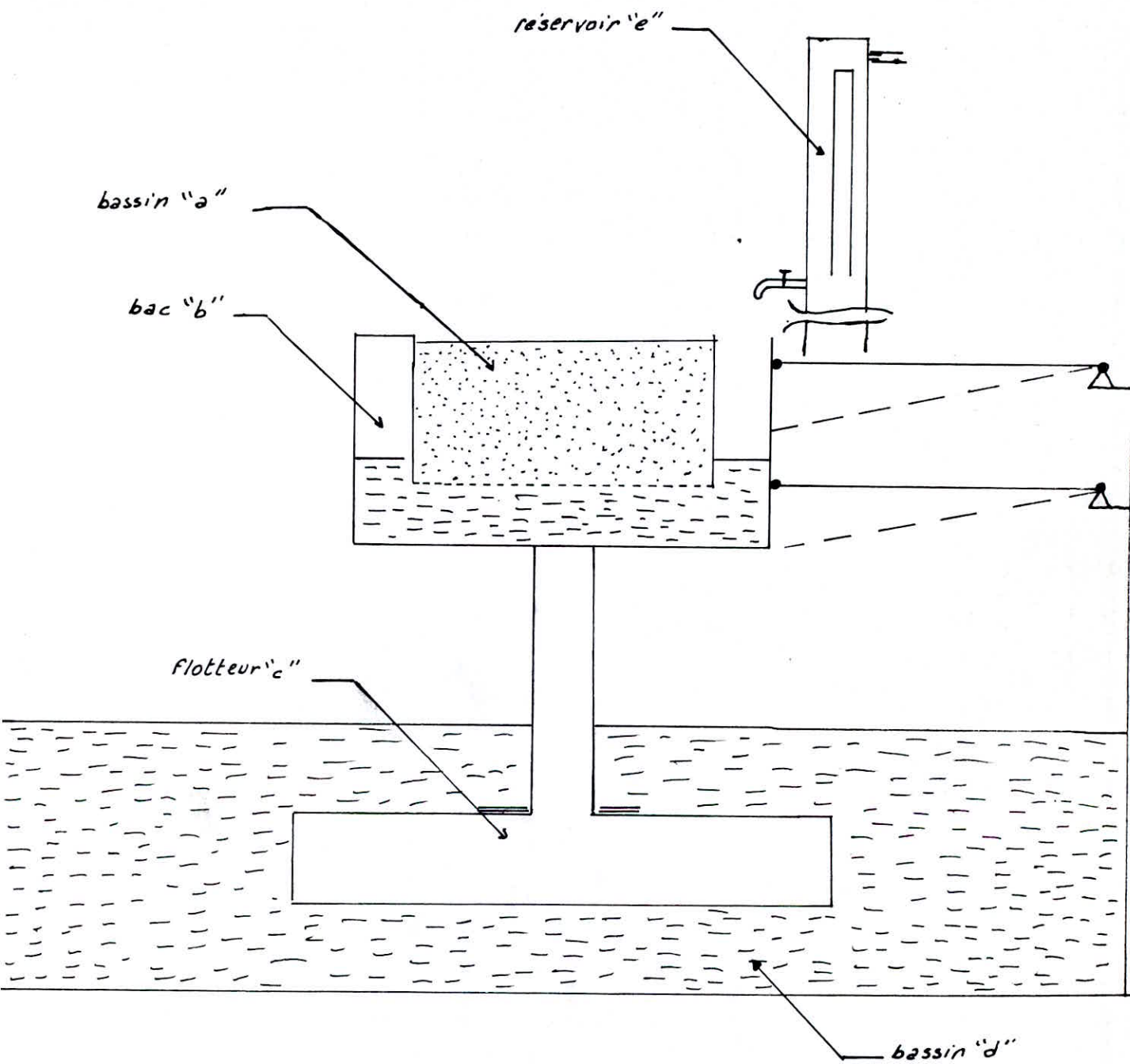


Fig. IV

On ouvre le robinet du réservoir "e" pour déclencher un afflux d'eau dans le bac "b", à l'aide d'une échelle on peut alors mesurer la valeur de l'évapo-transpiration .

Ce chapitre ne constitue pas une fin en soi car il faut:

- réaliser l'appareil décrit précédemment
- effectuer des mesures avec cet appareil pendant plusieurs mois.

- confronter les résultats obtenus avec ceux donnés par le pluvié-évaporomètre.

- trouver le lien entre l'évaporation d'un plan d'eau libre et l'évapo-transpiration potentielle.

- tirer toutes les conclusions possibles afin d'établir

- la dose d'arrosage

- la durée et fréquence d'arrosage

- le module

- enfin le calcul du réseau

## CONCLUSION

C'est avec l'accouplement des deux appareils précédemment décrits et placés dans des stations agricoles que nous pouvons désormais procéder à la mesure de l'évapo-transpiration potentielle. Elle nous fournira une valeur précise des besoins en eau propres des plantes cultivées.

Je souhaiterais la continuation de cette étude afin de déterminer tous les paramètres d'irrigation qui nous permettront une gestion économique des périmètres à irriguer, ainsi qu'une meilleure rentabilité du réseau d'irrigation; c'est à dire: maximum d'efficacité, minimum des dépenses.

